

Matematika, Karakter Bangsa, Dan Perannya Dalam Pengembangan Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi

W I D O D O

Jurusan Matematika

FMIPA UGM Yogyakarta

e-mail: widodo_math@yahoo.com

1. Pendahuluan: Pengertian Ilmu Matematika

Sebelum membahas peran matematika, terlebih dulu kita jawab “apa yang dimaksud matematika?” Banyak definisi mengenai matematika, tergantung kepada latar belakang dan pemahaman pembuat definisi sendiri. Beberapa definisi matematika antara lain:

- a. Matematika adalah ilmu yang menyelidiki secara deduktif mengenai konsep relasi spasial dan bilangan termasuk geometri, aritmetika, dan aljabar sebagai bagian utamanya (*Oxford English Dictionary*, 1933).
- b. Matematika adalah ilmu yang mempelajari pengukuran, sifat-sifat, dan relasi kuantitas dan himpunan menggunakan bilangan dan simbol (*American Heritage Dictionary*, 2000).
- c. *Mathematics is the logical and abstract study of pattern* (Stewart dalam Suzuki, 2010), matematika adalah ilmu yang mempelajari mengenai logika dan pola abstrak.
- d. Matematika adalah ilmu yang mempelajari mengenai klasifikasi dan semua pola yang mungkin (*Walter Warwick Sawyer*, 1955). Yang dimaksud pola di sini adalah keteraturan yang bisa diterima akal. Pola juga diartikan sebagai urutan dan struktur.
- e. Matematika adalah ilmu yang mempelajari mengenai struktur, urutan dan relasi dalam penghitungan, pengukuran, dan bentuk suatu obyek (*Encyclopedia Britannica*).

Disamping itu, banyak matematikawan yang mendefinisikan bahwa matematika adalah ilmu yang mempelajari mengenai teorema-teorema dan sistem aksiomatis. Definisi ini sedikit problematik karena belum mencakup topik-topik matematika yang bersifat eksploratif dan eksperimen baik yang dikerjakan secara manual oleh

matematikawan sebelum abad ke-20, maupun yang dilakukan dengan komputer oleh matematikawan mulai abad ke-20. Mengapa orang senang belajar matematika? Paling kurang seorang belajar matematika karena:

- menghargai keindahan matematika, khususnya keindahan logika dan pola abstrak.
- menikmati penemuan pola abstrak dalam penelitiannya khususnya pola yang cukup sulit.
- mempunyai aplikasi dan peran yang luas di berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi termasuk matematika sendiri.
- dapat mengungkap berbagai fenomena alam dan fenomena dalam kehidupan sehari-hari
- merupakan ilmu yang konsisten, tidak ada kontradiksi di dalamnya.

Menurut Prof. Ir. RMJT Soehakso, profesor Matematika pertama di Indonesia, Matematika mempunyai pola yang sangat menarik, begitu menariknya, beliau sering mengatakan bahwa Matematika bagaikan gadis tercantik di seluruh dunia. Rupanya setelah lama kita mempelajari Matematika, yang dimaksud cantik adalah polanya termasuk pola abstraknya, sedang di yang dimaksud di seluruh dunia adalah kebaruan Matematika bersifat universal di seluruh dunia, misalnya penemuan *rumus abc* dalam penyelesaian persamaan kuadrat dan penemuan rumus kosinus oleh Al Khawarizmi berlaku untuk seluruh dunia. Begitu pula semua penemuan penelitian misalnya disertasi doktor Matematika, unsur kebaruannya berlaku secara universal di manapun.

Metematika merupakan disiplin ilmu otonom, dapat berdiri sendiri, satu dari ilmu-ilmu pengetahuan yang mempunyai **kekuatan kreatif** akal manusia yang paling jelas. Matematika memainkan peran fundamental dalam ilmu pengetahuan modern, mempunyai pengaruh kuat baginya dan dipengaruhi pula olehnya dalam berbagai cara. Dalam matematika ada dua konsep yang seringkali menjadi perbedaan dalam matematika, yaitu matematika murni (*pure mathematics*) dan matematika terapan (*applied mathematics*). Hendaknya kita memandang keduanya sebagai satu keping mata uang, sama, hanya berbeda cara pandang dari kedua sisinya, dan tidak perlu dipertentangkan, bahkan saling menguatkan.

Dari sudut pandang ilmu murni, matematika dipandang sebagai seni dan kreatifitas yang dimainkan oleh fikiran manusia. Matematika merupakan kreatifitas yang mengekspresikan keindahan bentuk aksioma, teorema, relasi logika, relasi

numerik, yang semuanya menarik bagi penelitiannya karena kesempurnaan logikanya, sehingga menjadikannya sebuah ilmu yang mendorong peningkatan kapasitas manusia. Karena kesempurnaan logika inilah, maka dalam matematika tidak ada kontradiksi tentang nilai kebenaran di dalamnya. Tokoh matematika seperti Pythagoras, Plato sampai Gauss melihat bahwa matematika dipandang sebagai sistem yang teratur dan lebih sempurna daripada dunia nyata dalam kehidupan sehari-hari.

Dari sisi aplikasi, matematika dapat mengungkap fenomena-fenomena alam, masalah kehidupan sehari-hari dan masalah dalam ilmu pengetahuan dan teknologi. Dalam 4 abad terakhir kepentingan praktis matematika dalam ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) tak terbantahkan lagi, karena sebagian besar ilmuwan sangat menyadari makna matematika sebagai ilmu alat, sebagai pelayan, dan sebagai bahasa bagi ilmu-ilmu lainnya. Oleh karenanya diperbagai universitas di dunia, matematika dipandang mempunyai peran yang sangat penting pada hampir semua bidang IPTEK, seperti ilmu fisika, kimia, biologi, farmasi, ekonomi, ilmu komputer, ilmu-ilmu rekayasa, ilmu-ilmu sosial, dll. Secara umum peran matematika dalam IPTEK adalah:

- a. Matematika memainkan peran fundamental dalam memformulasikan masalah dalam IPTEK dengan model matematika.
- b. Sekarang semua cabang matematika, termasuk yang dahulu dianggap murni, dapat diaplikasikan dalam mendukung kemajuan IPTEK.
- c. Karena tidak semua model matematika yang diformulasikan dari masalah dalam IPTEK dapat diselesaikan secara analitik, mengakibatkan komputasi sains (*computational science*) melalui simulasi numerik menjadi bagian yang sangat penting dalam peran matematika.

2. Pendidikan Matematika dan Karakter Bangsa

Menurut Buku Pengembangan Pendidikan Budaya dan karakter Bangsa, DIKNAS (2010): **Pendidikan** adalah suatu usaha yang sadar dan sistematis dalam mengembangkan potensi didik. Pendidikan adalah juga suatu usaha masyarakat dan bangsa dalam mempersiapkan generasi mudanya bagi keberlangsungan masyarakat dan bangsanya yang lebih baik di masa depan. **Karakter** adalah watak, tabiat, akhlak, atau kepribadian yang terbentuk dari hasil internalisasi kebijakan yang diyakini dan digunakan sebagai landasan untuk cara pandang, berfikir, bersikap dan bertindak.

Kebajikan terdiri dari sejumlah nilai, moral, dan norma seperti jujur, berani bertindak, dapat dipercaya (amanah), dan hormat kepada orang lain.

Dalam ilmu matematika, peserta didik biasa diajak untuk berfikir kritis, analitis, terstruktur, teliti, terbuka terhadap kritik, benar dan konsisten, tidak ada pertentangan nilai kebenaran di dalamnya. Dalam pendidikan matematika, kita berusaha membuat peserta didik mempunyai kebiasaan dengan sifat-sifat tersebut. Diharapkan dikemudian hari apabila peserta didik telah lulus dan bekerja, sifat-sifat tersebut menjadi sebagian landasan berfikir, bersikap dan bertindak. Namun demikian sifat-sifat tersebut tidak ada artinya apabila tidak dilandasi oleh karakter yang dapat mendorong kita untuk berperilaku dalam kehidupan sehari-hari yang selalu didasari oleh nilai-nilai ketuhanan (agama), nilai moral, norma-norma seperti jujur, berani bertindak, dapat dipercaya (amanah), dan hormat kepada orang lain. Bagi berkehidupan berbangsa dan bernegara masih harus ditambah satu karakter lagi yaitu karakter-karakter yang dapat memupuk rasa kebangganaan menjadi bangsa Indonesia.

2.1. Berfikir Kritis

Menurut Markut (2005) berfikir kritis dapat ditinjau dari dua hal:

- a. Sejumlah skill untuk memproses dan membangun informasi dan percaya diri
- b. Suatu kebiasaan yang didasarkan pada komitmen intelektual untuk menggunakan skill sebagai petunjuk dalam bertindak.

Berfikir kritis sangat berguna dalam belajar matematika melalui penyelesaian masalah. Penyelesaian masalah dalam belajar matematika harus dikerjakan dengan banyak latihan secara terus-menerus. Ada beberapa nilai yang bisa ditanamkan dalam mengajar melalui penyelesaian masalah, antara lain:

- dalam penyelesaian masalah dapat menfokuskan perhatian peserta didik pada bagaimana menumbuhkan ide daripada sekedar mengingat suatu fakta atau konsep
- dalam penyelesaian masalah dapat membangun rasa percaya diri peserta didik dalam mengerjakan masalah matematika dan membuat matematika mempunyai arti (bermakna)
- dalam penyelesaian masalah matematika peserta didik dapat mengingat materi lebih lama, lebih awet.

Salah satu tujuan dalam belajar penyelesaian matematika melalui penyelesaian masalah adalah menyadarkan peserta didik untuk menghargai proses.

2.2. Benar dan Konsisten

Benar dan konsisten merupakan dua hal yang berbeda, namun saling berhubungan. Kita mengatakan dua pernyataan tidak konsisten bila kedua pernyataan tersebut saling kontradiksi, dan bila kedua pernyataan tersebut tidak kontradiksi maka kita mengatakan kedua pernyataan tersebut konsisten. Kita mengatakan suatu pernyataan adalah benar bila secara logika pernyataan tersebut mempunyai nilai kebenaran “benar”. Dalam suatu semesta pembicaraan (universe) yang telah ditentukan, di ilmu matematika tidak pernah ada kontradiksi, semuanya benar dan konsisten. Dua pernyataan bisa saja keduanya salah tapi masih konsisten. Kalau benar dan konsisten ini menjadi dasar pemikiran dan dasar bertindak dalam kehidupan sehari-hari, maka akan menjelma menjadi salah satu karakter pribadi yang sangat baik. Benar dan konsisten ini juga digunakan dalam sistem hukum dan perundang-undangan.

2.3. Pendekatan Perilaku

Menurut Arifin (2001), program studi Pendidikan matematika dan program studi matematika sebaiknya berorientasi dengan pendekatan perilaku (*behavior*) yang diimplementasikan dalam *silabus mata kuliah* dan *cara mengajar (how to teach)*. Pendekatan perilaku (*behavior*) ini, diarahkan supaya mahasiswa dapat:

- adaptive
- punya motivasi
- kreatif
- mandiri
- belajar sepanjang hayat.

Teaching and learning Process ditekankan pada *learning process* (proses belajarnya) :

- student oriented
- membuat mahasiswa belajar

Cara mahasiswa belajar dari yang paling sederhana:

- a. Mencontoh, meniru, analogi. Dengan cara ini mahasiswa mungkin pula mendapatkan hasil dan pengalaman berbeda-beda.
- b. Mengubah *informasi* menjadi *knowledge*, dengan melalui proses berfikir antara lain:
 - melihat, membaca, mendengar
 - merenung
 - menemukan cara sendiri.

Manakah yang lebih penting proses berfikir atau *knowledge* atau hasil belajar?. Bila proses yang dianggap penting, maka dipilih *student oriented approach* dengan *mentrigger* dengan problem tertentu. Dalam rangka proses belajar ini ada dua macam :

- *self learning* dan atau
- *cooperative learning*.

Menurut Moedomo (2001), *forming process* dalam cara belajar: mulai dari masalah sederhana sampai ke pengertian formal:

- *experincing*
- merenung
- refleksi
- formulasi.

Mengajar belum dianggap selesai bila yang diajar belum bisa belajar dengan benar. Mahasiswa dianggap sudah bisa belajar dengan baik bila melaksanakan/ memanfaatkan:

- a. *learning opportunities*
- b. *learning motivation*
- c. *learning how to learn*.

Proses belajar dalam problem solving bisa diurai menjadi:

- membaca yang tersirat
- merumuskan masalah
- menyelesaikan masalah
- pelaporan penyelesaian.

Apabila para ilmuwan mempunyai karakter akademik yang baik (seperti berfikir kritis, analitis, terstruktur, teliti, terbuka terhadap kritik, benar dan konsisten, dll) yang

menjadikan insan cerdas dan professional, dilengkapi dengan:

- a. Karakter yang dapat mendorong manusia untuk berperilaku dalam kehidupan sehari-hari, yang selalu didasari oleh nilai-nilai ketuhanan (agama), moral dan norma seperti jujur, berani bertindak, dapat dipercaya (amanah), dan hormat kepada orang lain
- b. Karakter-karakter yang memupuk rasa kebangganaan menjadi bangsa Indonesia, maka karya para ilmuwan tersebut mempunyai peran yang signifikan dalam perkembangan IPTEK bangsa Indonesia.

3. Peran Matematika dalam Perkembangan IPTEK

Peran matematika yang menonjol dalam IPTEK bukan sebagai pelayan atau alat, melainkan sebagai bahasa IPTEK melalui model matematika. Dalam hal ini termasuk pengolahan data untuk mendukung pemahaman fenomena yang dimodelkan. Adalah benar bahwa sejak dulu matematika telah dihubungkan bahkan dimotivasi dengan masalah praktis dalam kehidupan sehari-hari. Aritmetika diawali dengan penambahan dan pengurangan, geometri diawali dengan pengukuran garis, luasan, dan volume. Selain itu matematika juga dimotivasi oleh *logic-deductive* yang melahirkan matematika murni yang sangat fundamental dan penting.

Galileo Galilei (1564-1642) pernah membuat ungkapan yang terkenal yaitu: “Filsafat ditulis dalam buku tebal yang dapat mengungkap pandangan kita kepada dunia, tetapi filsafat tidak dapat dimengerti kecuali kita dapat mempelajarinya secara menyeluruh dengan bahasa dan ditulis dengan lambang. Bahasa itu adalah matematika”. Galileo Galilei adalah salah satu ilmuwan yang sangat mempunyai komitmen mempertahankan dan melanjutkan matematika melalui metode eksperimen, sehingga hasil penelitiannya mempunyai kontribusi yang sangat terkenal dalam ilmu Astronomi. Peran matematika yang sangat menonjol pada abad berikutnya adalah dalam bidang Fisika. Tokoh Fisika Isaac NEWTON (1642- 1727) telah menunjukkan peran matematika dalam mekanika. Isaac NEWTON dapat menyelesaikan masalah yang sangat mendasar yang paling diperdebatkan pada abad itu, dan telah menemukan rumus $F=m.a$.

Setelah penemuan kalkulus oleh matematikawan terkenal G.W.Leibniz, peran kalkulus telah banyak ditunjukkan oleh Matematikawan sekaligus Fisikawan seperti

Euler, Bernaulli, Laplace, Lagrange, dll. Euler telah banyak mempunyai kontribusi di bidang matematika seperti Geometri, Analisis dan Teori Bilangan, dan di Bidang Fisika seperti Elastisitas, Hidrodinamik, dan akustik.

Secara ringkas peran matematika sebelum abad ke-20 antara lain dalam bidang:

- Listrik dan Magnet oleh Faraday, Maxwell, Gaus, Ampere, Biot.
- Fluida (*Fluids*) oleh C.L. Navier dan G.G. Stokes menggunakan hasil penelitian matematikawan S. Poisson dan J.C. Venant. Fluida juga digunakan oleh dokter (*medical docter*) J.L.M.Poisuelle untuk menyelidiki model aliran darah manusia.
- Termodinamika oleh J. Joule, S. Carnot, J.R. Mayer, dll
- Mekanika Statistika (*Statistical Mechanics*) oleh L. Boltzman dan W.Gibs.

Beberapa konsep Matematika abad ke-20 yang didorong ilmu lain:

3.1. Matematika yang berasal dari masalah Fisika

- Teori relativitas oleh Albert Einstein yang oleh Majalah Times (2000) dinobatkan sebagai “*Man of the Century*”. Teori relativitas dari bidang Fisika ini menimbulkan “*new mathematics*”. Penemuan Einstein ini ada dua yaitu teori relativitas khusus (*special relativity*, 1905) dan teori relativitas umum (*general relativity*, 1916). Teori relativitas umum menggunakan konsep geometri yang dielaborasi oleh Matematikawan Jerman (Riemann) seabad sebelumnya yang disebutnya sebagai “*Gedankenexperiment*”, yaitu sebuah pemikiran pada hipotesis “fondasi geometri”. Relativitas kemudian digunakan untuk membahas permainan bola besar dalam geometri diferensial pada abad ke-20.
- Mekanika Kuantum oleh Max Planck dan E. Scrodinger, dengan formula yang terkenal:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + V\psi,$$

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$, $i = \sqrt{-1}$, $V = V(x, y, z, t)$ potensial, Δ Operator Laplace, $\psi(x, y, z, t)$ fungsi

gelombang, h konstanta Planck. Tahun 1928 Max Born menemukan bahwa $|\psi|^2$ merupakan besarnya probabilitas untuk menemukan partikel pada lokasi (x, y, z) pada saat t . Teori ini juga menggunakan penemuan matematikawan Rusia H. Lebesgue

(1917) tentang teori ukuran dan teori probabilitas pada ruang ukuran. Teori relativitas dan persamaan Scrodinger kemudian dibahas secara teori menggunakan ruang Hilbert dan Banach dalam Analisis Fungsional secara matematis (Zeidler, 1984 dan Baihaqi dkk, 1999).

3.2. Matematika yang berasal dari masalah Rekayasa

- *Aeronautics* (ilmu penerbangan). Setelah secara impresif matematika berperan dalam bidang ilmu fisika khususnya mekanika fluida (*fluid mechanics*), ternyata matematika juga berperan dalam menyelesaikan masalah penerbangan yang diinisiasi oleh Leonardo da Vinci. Setelah perjalanan panjang pembicaraan ilmuwan mengenai kemungkinan membuat pesawat terbang, maka metode eksperimen terbang ditemukan oleh dua bersaudara **Wilbur** dan **Orville Wright** (USA). Mereka berhasil menerbangkan pesawat pertama kali pada tanggal **17 Desember 1903** di Kitty Hawk, North Caroline, USA, dan sejak saat itu ilmu penerbangan terlahir. Pada periode 1903-1910 dari makalah-makalah karya L. Prandtl, M. Kutta, N.E. Zhukovski, dan S.A. Chaplygin rumusan teori secara matematika masalah penerbangan telah dapat dimengerti dengan jelas. Mereka membahas konsep-konsep kemampuan terbang, pengendalian, turbulensi, dll. Persolan-persoalan pada ilmu penerbangan itu kemudian mendorong munculnya konsep-konsep baru dalam matematika terapan seperti *theory of single perturbation*, *theory of supersonic and transonic flows*, *mathematical theory of combustion* (teori pembakaran), *the application of control theory in aircraft engineering*, dll. Sementara itu perkembangan matematika yang menonjol dalam abad 20 antara lain Kalkulus Probabilistik seperti persamaan diferensial dan integral stokastik, geometri fraktal, teori *chaos*, dll.

3.3. Komputer dan Komputasi Matematika

Untuk merealisasikan mimpi manusia dalam menciptakan mesin hitung, diperlukan dua sumber ilmu utama yaitu matematika dan rekayasa. Mimpi itu sudah ada sebelum abad ke-20, sejak jaman Pascal dan Leibniz abad ke-17 sampai Ch. Babbage abad ke-19, dan menjadi kenyataan pada abad ke-20 ditandai dengan kemajuan di bidang rekayasa elektronika seperti semikonduktor dan *chip*, kemudian lahir komputer. Komputer terlahir bukan sebagai mesin hitung yang pasif, tetapi aktif dengan

program. Hal ini adalah warisan dari logika matematika, dari aljabar **Boole** sampai program dengan matematika formalisasi yang dibuat oleh **Hilbert** hingga **Teorema ketidaklengkapan Godel /Godel's Incompleteness Theorem 1931** (Feferman, 2006 dan Franzen, 2006). **Alan Turing** (1912-1954) telah berhasil menterjemahkan program dengan matematika formalisasi ke dalam bahasa mesin (*on the computable numbers, with application to Entscheidungsproblems, Proc. of London Mathematical Society, 1937*), dan bersama-sama dengan **Alonso Church** menulis tentang *Computability Theory*. Kemudian komputer **ENIAC** (*Electronic Numeric Integrator and Computer*) dibangun tahun 1946. Komputer komersial pertama kali adalah **UNIVAC** (*Universal Automatic Computer*) yang dibuat tahun 1951 oleh John W. **Mauchly** dan mantan muridnya J. Presper **Eckert**. **UNIVAC** sudah tergolong modern dan merupakan mesin hitung pertama yang efektif dengan empat karakteristik: *general purpose, electronic, digital, and programmable*. Di sini *digital and programmable* terkait langsung dengan peran matematika. Dalam waktu kurang dari 60 tahun kemudian, yaitu pada awal abad 21, telah berevolusi dari komputer besar UNIVAC yang berkapasitas *kilobytes* menjadi komputer kecil *personal computer (PC)* yang berkapasitas *megabytes* dan *gigabytes*.

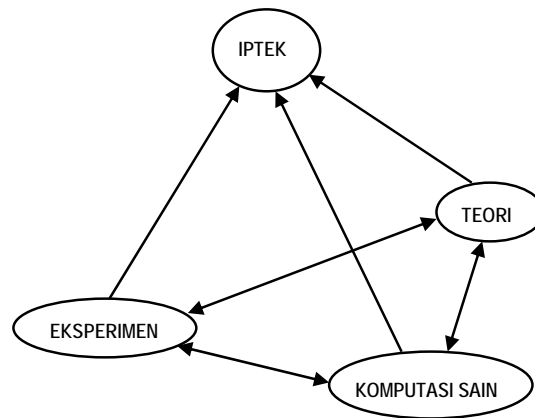
3.4. Komputasi Sain Sebagai Pilar ke Tiga dalam IPTEK

Komputer sedikit demi sedikit telah merubah kebiasaan masyarakat seperti dalam transaksi bank, *electronic mail (e-mail)*, pemesanan tiket, internet, semuanya menggunakan komputer. Itu semua adalah pengaruh perkembangan ilmu rekayasa elektronik dan matematika, walaupun hal ini belum banyak diketahui oleh masyarakat pada umumnya. Dalam dunia komputasi ini, kemudian muncul konsep-konsep baru di matematika seperti teori matematika komputasi, teori automata, dan bahasa-bahasa formal (*formal languages*). Semua cabang matematika murni maupun aplikasi sekarang terpengaruh oleh komputasi ini dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya matematikawan dapat menghitung trayektori sistem dinamika, metode numerik, *time series*, sifat-sifat statistik fungsi Zeta, atraktor geometri fraktal, aplikasi Teorema *Collage*, pengolahan Citra (*image*), dll. Astronom dapat menghitung orbit satelit, ahli matematika ekonomi dapat menghitung estimasi harga saham, insinyur rekayasa industri dapat menghitung proses-proses dalam industri, ahli ilmu komputer dapat membuat program DSS (*Decision Support Systems*), semuanya dapat dihitung dengan relatif mudah.

Matematika juga telah mempunyai peran yang menonjol dalam proses-proses di dunia industri, yang merupakan kombinasi antara hasil eksperimen industri dengan model matematika tertentu, sehingga muncul kombinasi:

**Model Matematika-Analisis Matematika dan Numerik-
Simulasi-Visualisasi-Kontrol.**

Saat ini kombinasi di atas sudah biasa digunakan di berbagai bidang IPTEK seperti fisika, kimia, komunikasi, prediksi cuaca, rekayasa industri, industri mobil, industri perminyakan, masalah lingkungan, ekonomi dan keuangan, kedokteran, bahkan ilmu sosial. Kemudian muncullah ilmu-ilmu baru seperti CFD (*Computational Fluid Dynamics*), CB (*Computational Biology*), dll. Bahkan konsep-konsep baru seperti model numerik, simulasi komputer, eksplorasi numerik, dan visualisasi dinamik telah digunakan sehari-hari dalam ilmu pengetahuan dan industri multi media. Pengembangan metode solusi numerik dari masalah kontinu seperti sistem persamaan diferensial dan persamaan integral merupakan peran fundamenatal matematika dalam komputasi matematika (*finite different methods, finite elements method, volume elements methods*). Studi tentang konvergensi metode-metode di atas sangat dekat dengan Aljabar dan Analisis. Komputasi matematika juga penting perannya pada matematika diskrit terutama pada masalah graf ukuran besar yang terjadi misalnya pada masalah jaringan telekomunikasi. Semua menunjukkan betapa penting arti **Komputasi Sain (*Computational Science*)**, yang oleh para ahli sekarang disebut sebagai **pilar ke tiga** IPTEK setelah **Teori** dan **Eksperimen**. Komputasi sain ini sekarang sudah menjadi proses dalam kehidupan sehari-hari misalnya di bidang Fisika, Kimia, Ilmu Komputer, Matematika, ilmu-ilmu rekayasa, dan bidang IPTEK lainnya. Dengan semangat ini marilah kita proporsionalkan tiga (3) pilar IPTEK yaitu **Teori, Eksperimen** dan **Komputasi Sain**.



Ada beberapa kasus hubungan antara komputasi dan teori dalam matematika misalnya:

- a. Secara analitik dapat dibuktikan dan komputasi numerik juga dapat dikerjakan dengan pendekatan atau melalui visualisasi. Misalnya pada masalah persamaan diferensial atau persamaan integral yang eksistensi solusinya sudah dibuktikan dan formula solusinya sudah ditemukan.
- b. Secara analitik sudah dapat dibuktikan eksistensinya dan formula eksplisit tidak ditemukan, tetapi secara komputasi numerik dapat dihitung dan divisualisasikan. Misalnya pada masalah geometri fraktal, eksistensi atraktor (yang berupa citra dua atau tiga dimensi) sudah dapat dibuktikan secara analitik (dengan analisis real), tetapi pada umumnya atraktor tidak dapat diformulasikan secara eksplisit, namun demikian dengan algoritma iterasi random dan algoritma *cat game*, atraktor dapat dihitung dan divisualisasikan dengan grafika komputer (Susanta dkk, 1993, Bersnley, 1988, dan Pietgen dkk, 1992). Khususnya pada masalah interpolasi fraktal dengan data berhingga, bukti eksistensinya ditunjukkan dengan Teorema Titik Tetap pada ruang fungsi kontinu dengan metrik supremum (Widodo, 2003).
- c. Secara analitik sangat sulit dibuktikan, tetapi komputasi numerik dapat dihitung dan divisualisasikan. Misalnya pada penyelesaian masalah optimisasi tanpa kendala fungsi n variabel dengan algoritma genetik. Dalam masalah ini komputasi dilakukan dengan pembangkitan populasi awal kromosom secara random, evaluasi terhadap populasi awal, menentukan kriteria berhenti, seleksi, perkawinan silang dan mutasi, iterasi dan *update* generasi. Dalam algoritma ini kita bekerja pada

ruang barisan digit 0 dan 1 dengan panjang m , m panjang kromosom. Jadi kita bekerja pada ruang metrik kompak

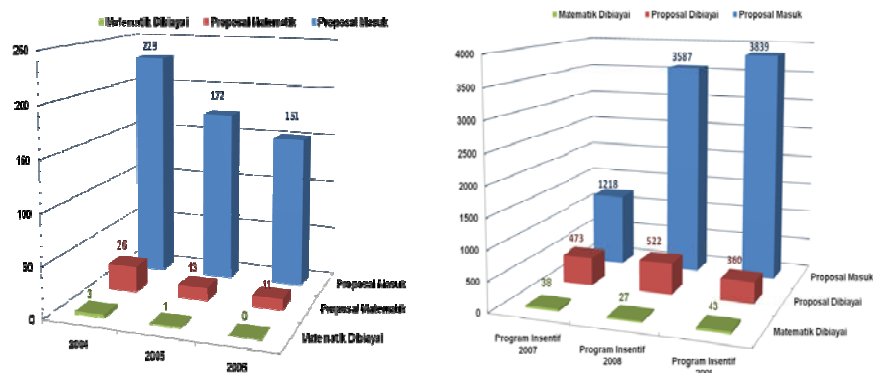
$$\Omega_m = \{(x_1 x_2 x_3 \dots x_m) : x_i = 0 \text{ atau } 1 \text{ untuk setiap } i \geq 1\},$$

yaitu Ω_m merupakan koleksi semua barisan bilangan 0 dan 1 $(x_1 x_2 x_3 \dots x_m)$ dengan panjang m . Barisan $(x_1 x_2 x_3 \dots x_m)$ ini dalam algoritma genetik disebut kromosom dan x_i disebut *alela*. Proses di atas dikerjakan secara terus menerus dengan kriteria berhenti banyaknya generasi yang diinginkan. Solusi dari proses ini belum pernah dibuktikan secara analitik bahwa solusinya merupakan solusi dari masalah aslinya, yaitu optimisasi tanpa kendala fungsi n variabel. Khusus untuk kasus fungsi 2 variabel dapat dilihat pada (Widodo dan Widyantoro, 2003).

Dari studi literatur terlihat bahwa tren peran matematika abad 21 dalam bidang IPTEK antara lain: teori fluida (*theory of fluids*), ilmu penerbangan (*aeronautics*), fisika modern (*modern physics*), Ilmu kebumihan (*geosciences*), material sains (*material sciences*), teknologi nano (*nanotechnology*), rekayasa industri (*industrial engineering*), telekomunikasi, matematika diskrit (*discrete mathematics*), ilmu komputer (*computer sciences*), teori kendali (*control theory*), robotika (*Robotics*), teori informasi (*Information Theory*), teori optimisasi (*optimization theory*), optimasi masalah transportasi (*problem of optimal transportation*) seperti aliran lalu lintas, sistem lampu lalu lintas, dan matematika keuangan (harga opsi, perdagangan derivatif, manajemen resiko menggunakan persamaan diferensial stokastik).

3.5. Peran Matematika dalam IPTEK di Indonesia

Salah satu peran KNRT (Kementrian Negara Riset dan Teknologi) dalam menyediakan anggaran secara kompetitif untuk penelitian bagi ilmu dasar umumnya dan matematika khususnya adalah dalam bentuk program insentif. Program insentif antara tahun 2004-2009 menunjukkan peningkatan peran matematika yang cukup baik. Hal ini terlihat dalam diagram batang berikut (Widodo, dkk 2009a):

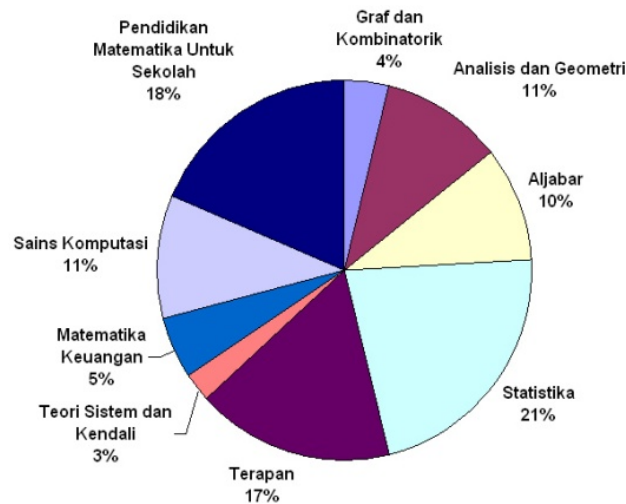


Pada anggaran KNRT tahun 2004 menunjukkan hanya ada 26 proposal yang melibatkan matematika dari 229 total proposal program insentif, dan dari 26 proposal tersebut hanya 3 proposal yang dapat didanai. Meskipun tahun 2005 dan 2006 hal ini mengalami penurunan, namun demikian tahun 2007, 2008 mengalami perkembangan yang sangat pesat. Sebagai gambaran, tahun 2007 ada 473 proposal yang melibatkan matematika dari 1.218 total proposal program insentif, dan dari 473 proposal tersebut ada 38 proposal yang melibatkan matematika yang dapat didanai. Sedangkan untuk tahun 2008 dan 2009 masing-masing ada 27 dan 43 proposal yang melibatkan matematika yang dapat didanai (Widodo, dkk 2009a). Hal ini menunjukkan peran Matematika yang signifikan dalam perkembangan IPTEK di Indonesia. Dalam kurun waktu 2007-2009 terdapat 108 riset KNRT yang melibatkan peran matematika secara langsung di berbagai bidang keilmuan, 16 diantaranya dengan judul riset:

1. Desain dan Implementasi Sistem Penentuan Lokasi Penangkapan Ikan dengan Pendekatan *Knowledge Based Model*
2. Alat Pemfokusan Gelombang Laut sebagai Alat Rekayasa Pengosentrasian Energi Gelombang untuk Pembangkit Listrik Tenaga Ombak
3. Sistem Kendali Aktif Menggunakan Sensor-Aktuator PZT untuk Meredam Getaran Struktur Kapal
4. Pengembangan Alat Enkripsi Komunikasi Bergerak dengan Kustomisasi Sistem Kartu Elektronika
5. Otomatisasi Sinyal untuk Pemantauan Kereta Api dengan Pemanfaatan Metoda *Tracking & Teknologi GPS, GIS dan GPRS*
6. Pemodelan dan Simulasi Sistem Regulatori Genetik pada *Mybacterium Tuberculosis*

7. *Software* untuk Menentukan Modulus Elastik dan Ketebalan Lapisan Tanah Berdasarkan Gelombang Permukaan
8. Pengembangan Sistem Kendali & Stabilisasi Gerak Laras Meriam
9. Pengembangan *Typical* dan Pedoman Disain Rumah Tinggal Tahan Gempa Indonesia dengan Verifikasi Simulasi Alat Meja Getar dan Numerik Elemen Hingga
10. Pengembangan Model dan Perangkat Lunak untuk Optimisasi Sistem Produksi dan Transportasi Minyak, Gas dan Panas Bumi
11. Pengembangan Model dan Skenario Optimalisasi Rantai Pasokan Bahan Bakar Bauran.
12. Kajian numerik dan eksperimental rancang bangun *midget* untuk aplikasi militer di Indonesia
13. Pengembangan aplikasi *dynamic geographic information system* dan perangkat *mobile thin-client* untuk mengatasi masalah transportasi jalan raya
14. Optimasi Kapasitas Sistem Produksi Kapal Terdistribusi
15. Aspek Matematika Masalah Penularan HIV/AIDS di Indonesia
16. Sistem manajemen transportasi untuk mengatasi kemacetan di perkotaan dengan menggunakan sistem dinamik.

Menurut survey yang diadakan oleh IndoMS (*Indonesian Mathematical Society*) bekerjasama dengan KNRT tahun 2009 berdasarkan data bulan Mei-Juli 2008 melalui komunikasi internet dan SMS dari 33 perguruan tinggi di Indonesia (1.066 dosen), diperoleh Sumberdaya Manusia (SDM) bidang Matematika di Indonesia terdiri dari dosen-dosen yang berpangkat Profesor:37, bergelar Doktor (S3):199, bergelar Master (S2):667. SDM bidang Matematika tersebut tergolong-golong dalam berbagai bidang keilmuan seperti Graf dan Kombinatorik (4%), Analisis dan Geometri (11%), Aljabar (10%), Statistika (21%), Terapan (17%), Teori Sistem dan Kendali (3%), Matematika Keuangan (5%), **Komputasi Sain (11%)**, Pendidikan Matematika untuk Sekolah (18%), seperti terlihat di dalam diagram lingkaran berikut.



Data tersebut belum termasuk Sarjana S1, S2 dan S3 Matematika yang berkerja di lembaga selain PT seperti BATAN, LAPAN, LIPI, Baksortanal, dll dan dipastikan jumlahnya sudah meningkat. Oleh karena itu kita yakin bahwa: bila SDM Matematika kita diberdayakan dengan optimal, maka peran Matematika dalam perkembangan IPTEK di Indonesia semakin meningkat dan berkembang di masa yang akan datang, khususnya **dalam menguatkan Komputasi Sain sebagai pilar ke tiga IPTEK.**

Daftar Pustaka

- Abadi, A.M., Subanar, Widodo dan Saleh S., 2008, Designing Fuzzy Time Series Model and Its Application to Forecasting Inflation Rate, 7Th World Congress in Probability and Statistics. NUS, Singapore, 14-19 July 2008.
- Achariya, -, Critical Thinking and Mathematics Problem Solving.
- Alvares-Esteban, P.C., Barrio, Ed., Cuesta-Albartos, J.A. and Matran, C., 2008, Uniqueness and Approximated Computation of Optimal Incomplete Transportation Plans, Univ. de Cantabria.
- Bader, D.A., 2004, Computational Biology and High-Performance Computing, Communication of the ACM, Vol.47, No. 11, 35-44.
- Baggett, P., dan Ehrenfeucht,-, on the consistency and correstness of Schol Mathematics, Dept. of Mathematical Sciences, New Mexico State University.
- Banks, H.T.and Tran, H.T.,2009, Mathematical and Experimental Modelling of Physical and Biological Sciences Process, CRC Press, N.Y.
- Barnsley, 1988, Fractal Everywhere, Academic Press Inc., Boston

- Baihaqi, K., Widodo, dan Wahyuni, S., 1999, Terapan Aljabar Linear pada Teori Kuantum, Pascasarjana, Matematika UGM.
- Bui, L.T. and Alam, S., 2008, Multi-objective optimization in computational intelligence: theory and practice, Univ. of New South Wales, Australia.
- Chaitin, G.J., 1971, Computational Complexity and Godel's Incompleteness Theorem, ACM SIGACT News, No.9, 11-15.
- Chaitin, G.J., 2003, Algorithmic Information Theory, Yorktown Heights, NY.
- Chun, B.N. and Baunadonna, P., 2010, Computational Risk Management for Building Highly Reliable Network Services, Intel Research Berkeley.
- Chung, T.J., 2002, Computational Fluid Dynamics, Univ. of Alabama, USA.
- Eberlein, E., Frey, R., Kalkbrenner, M., dan Overbeck, L., Mathematics in Risk Management, March 2007.
- Feferman, S., 2006, The Nature and Significance of Godel Incompleteness Theorem, Institute of Advanced Study, Princeton, November 2006.
- Fonarev, A.S., Madhani, J.T. and Naida, M.A., 2001, An effective methods of calculating transonic flows and wave drag of axisymmetric and 3-D elongate bodies within frameworks of transonics equivalence rule, 14th Australian Fluid Mechanics Conference, Adelaide University, Dec.10-14.
- Franzen, T., 2006, Godel Theorem: An Incomplete Guide to Its Use and Abuse, August, 2006.
- Georgi, E.D., Hens, T. and Mayer, J., 2010, Computational Aspect of Prospect Theory with Asset Pricing Application, Univ. of Zurich.
- Glimm, J., Hou, S., Kim, H. and Zon, Q., 2000, Computational Geosciences.
- Heilio, M., 2009, Mathematics for Society, Industry and Innovation, Journal of Mathematical Modeling and Applications, Vo. 1 No.1, 77-88.
- Herrero, M.A., 2010, On the role of Mathematics in Biology, Departamento de Matematica, Aplicada, Universidad Complutense, Madrid, Spain.
- Kolemen, J., 2008, A short note on Emergence of Computational Robot Conciousness, Acta polytechnica Hungarica, Vol.5, No.4.
- Kuehmann, C.J. and Olson, G.B., 2009, Computational materials design and engineering, Material Science and Technology, Vol.25, No.4, 472-482.
- Kunii, T.L., 1999, Technological Impact of Modern Abstract Mathematics, Computational Science Research Center, Hosey University, Japan.

-
- Markut, I., 2005, Criticak thinking-applied to methodology of theaching mathematics, *Educatia mathematica* vol. 1 (2005), 57-66.
- Moedomo, dan Arifin, A., 2001, Studi Banding Departemen Matematika FMIPA ITB di Jurusan Matematika FMIPA UGM.
- Mozafari, M., Tafazzoli, S. and Jolai, F., A new IPSO-SA approach for cardinality portfolio optimization, *International Journal of Industrial Engineering Computations* 2 (2011),249-262.
- Pachter, L. and Sturmfels, B., 2010, *Algebraic Statistics for Computational Biology*.
- Perikesit, Danang, Widodo, Sukandarrumidi, dan Iman Haryanto, 2000, Modelling Indonesian Fuel distribution Systems, *Forum Teknik* Vol. 24, No.1, Maret 2000, hlm. 72-86.
- Pietgen, H.O., Jurgens, H. and Saupe, D., 1992, *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*, Springer-Verlag, New York.
- Rehm, R.G., 2008, The effects of winds from burning structures on ground-fire propagation at the wildland-urban interface, *Combustion Theory and Modelling*, Vol.12, No.3, 477-496.
- Richman, F., 2009, *Computational discrete mathematics with JavaScript*, Florida Atlatic University.
- Romero, C.R.R. and Alonso, V.H.S, 2009, The Role of Mathematics in Understanding of the Dynamics of Meteorological Situation that Produce Heavy Rain over the Spanish Mediterranean Zone, *monograf de la real academica de ciencias de Zaragoza* 31, 175-198.
- Rodrigues, J.F, 2000, *Mathematics and its Role in Civilisation*, Centro de Matematica de Aplicacoes Fundamentais, University of Lisbon.
- Salmah, Wahyuni, S., Widodo and Wijayanti, I.E., 2001, Adaptive predictive control for aeroservoelastic system, *Proc. of the ISTAEM*, January 8-11, 2001, pp.97-100, Hong Kong Polytechnic University.
- Sanchez, M. and Blomhoj, M., 2011, *The role of Mathematics in Politics as an Issue for Mathematics Teaching*, Roskilde University, Demark.
- Skiadas, C.H. and Skiadas, C., 2009, *Chaotic Modelling and Simulation*, CRC Press, New York.
- Srivastava, D. and Atluri, S.N., 2002, *Computational Nanotechnology*, CMES, Vol.2,

- No.5, 531-538.
- Susanta, B., Soemantri, R., Widodo, Aryati, L., Hendarto, J, and Suprpto, 1993, Introduction to Fractal Geometry, research report, LOAN, World Bank XXI, FMIPA UGM.
- Suzuki, J, 2010, But How Do I Do Mathematical Research?.
<http://dml.cz/dmlcz/101473>, Czech digital math library.
- Tay, Y.S., 1997, Contribution towards the optimization of hand-held mobile telecommunication equipment by computational electromegnetics, DISS. ETH, No.12311, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
- Widodo, 2002, Topological entropy of shift function on the sequences space induced by expanding piecewise linear transformations, Discrete and Continuous Dynamical Systems-Series A, Vol. 8, No.1, 191-208, USA.
- Widodo and Widyanoro, W., 2003, Analysis of Genetic Algorithms and Its Application in Solving Unconstrained Function Optimization Problem, Proc. of the Conference on Statistical and Mathematical Sciences of Islamic Society in South East Asia Region, Bandung, April 25-26, 2003.
- Widodo, 2003, Sistem Fungsi Iterasi dan Eksistensi Interpolasi Fraktal, JPMS VIII, No.2, 129-136, Supported by JICA.
- Widodo, 2004, Eksplorasi Penelitian Matematika, FMIPA UGM.
- Widodo, Endrayanto, I., Kusumo, F.A., Gunardi, Santa, S.A., 2009a, Pemetaan Perkembangan Riset IPTEK Bidang Matematika di Indonesia, kerjasama INDOMS-KNRT Jkt, 8 Des. 2009.
- Widodo, Anwar, C., Utomo, A.B.S., Endrayanto, I., 2009b, Aplikasi Model Matematika untuk Aliran lalu Lintas, FMIPA UGM.
- Widodo, 2010a, Peran Penelitian Matematika dalam Upaya Pembentukan Karakter Bangsa, SEMNAS, FMIPA UNY, 2010.
- Widodo, 2010b, Entropi Sistem Dinamika Diskret dan Penerapannya pada Entropi Barisan DNA, Pidato Pengukuhan Guru Besar, MGB UGM.
- Xue, D. and Chen, Y., 2009, Solving Applied Mathematical Problems, with MATLAB, CRC Press, New York.
- Zeidler, E., 1988, Nonlinear Functional Analysis and Its Application IV: Application to Mathematical Physics, Chapter 75-76: Special and General Relativity Theory, Springer-Verlag, N.Y.